

## Kühlkörper mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil

Patent number: DE19605302

Publication date: 1997-08-21

Inventor: BIESENBACH JENS DIPL ING [DE]; EBERT THOMAS  
DIPL ING [DE]; TREUSCH GEORG DR [DE]; BONATI  
GUIDO [DE]

Applicant: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]

Classification:

- international: H01L23/36; H01L23/32; H01S3/043; H05K7/20;  
H01L23/473

- european: H01L21/58; H01L23/36; H01L33/00B7; H01S5/024

Application number: DE19961005302 19960214

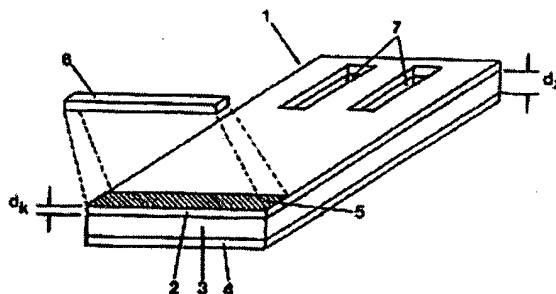
Priority number(s): DE19961005302 19960214

Also published as:

WO9730494 (A1)

### Abstract of DE19605302

Described is a heat sink including a surface on which an electronic component, in particular a semiconductor component, can be mounted, the component being mounted in the surface zone by means of a soldered joint in which the solder-film thickness is less than 100  $\mu\text{m}$ . The heat sink is made essentially of copper, has a layered structure and has large length and width dimensions compared with its height. The heat sink is characterized in that, located between at least two copper layers, is an intermediate layer made essentially of one or more of the materials molybdenum, tungsten, aluminium nitride or pyrolytic graphite with a thermal conductivity greater than 100 W/m.K, the thickness(es) of the intermediate layer(s) being such that the coefficient of thermal expansion of the component-mounting surface does not differ from the coefficient of thermal expansion of the contact surface of the component by more than 10 %.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 05 302 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 23/36**  
H 01 L 23/32  
H 01 S 3/043  
H 05 K 7/20  
// H 01 L 23/473

②1 Aktenzeichen: 196 05 302.1  
②2 Anmeldetag: 14. 2. 96  
④3 Offenlegungstag: 21. 8. 97

DE 196 05 302 A 1

⑦1 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:  
Grimm, E., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 63450 Hanau

⑦2 Erfinder:  
Biesenbach, Jens, Dipl.-Ing., 52062 Aachen, DE;  
Ebert, Thomas, Dipl.-Ing., 52072 Aachen, DE;  
Treusch, Georg, Dr., 52074 Aachen, DE; Bonati,  
Guido, 52068 Aachen, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 43 15 580 A1  
DE 42 40 843 A1  
DE 28 24 250 A1  
DE 24 49 949 A1  
DE-GM 72 38 237  
US 51 05 429  
EP 04 67 259 A2  
WO 94 24 703  
WO 92 19 027  
Technische Rundschau, 32/1988, S. 38-45;  
IBM TDB, 1989, Vol. 32, Nr. 4A, S. 352-353;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Kühlkörper mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil

⑤7 Kühlkörper mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil, insbesondere für ein Halbleiterbauelement, wobei im Bereich dessen Montagefläche mittels einer Lotschicht einer Lotverbindung, die dünner als 100 µm ist, ein Bauteil montierbar ist, wobei der Kühlkörper im wesentlichen aus Kupfer gefertigt ist, eine Schichtstruktur aufweist und eine im Vergleich zu seinen Flächenabmessungen geringe Höhe aufweist, der dadurch gekennzeichnet ist, daß mindestens zwischen zwei Kupferschichten eine Zwischenschicht zwischengelegt ist, die im wesentlichen aus einem oder mehreren der Material(ien) Molybdän, Wolfram, Aluminiumnitrid, pyrolytisches Graphit, das eine Wärmeleitfähigkeit größer 100 W/m·K besitzt, wobei die Dicke(n) der Zwischenschicht(en) so gewählt ist (sind), daß an der Montagefläche ein Wärmeausdehnungskoeffizient eingestellt wird, der so dem Wärmeausdehnungskoeffizient der Montagefläche eines zu montierenden Bauteils angepaßt ist, daß er von diesem nicht mehr als 10% abweicht.

DE 196 05 302 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Kühlkörper mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil, insbesondere für ein Halbleiterbauelement, wobei im Bereich dessen Montagefläche mittels einer Lotschicht einer Lotverbindung, die dünner als 100 µm ist, ein Bauteil montierbar ist, wobei der Kühlkörper im wesentlichen aus Kupfer gefertigt ist, eine Schichtstruktur aufweist und eine im Vergleich zu seinen Flächenabmessungen geringe Höhe aufweist.

Für die Leistung und die Lebensdauer elektronischer Bauteile, insbesondere von optoelektronischen Bauelementen mit hohen Wärmeverlustleistungen, ist eine optimale Wärmeabfuhr ein wesentliches Kriterium. Die Wärmeabfuhr ist insbesondere ein Problem bei dem Betrieb von Hochleistungsdiodelnlasern mit aus einzelnen Laserdioden zusammengesetzten Diodenlaserbarren bzw. -feldern. Ungefähr 60 — 70% der eingebrachten elektrischen Leistung wird bei solchen Diodenlaserbarren in Wärme umgewandelt und muß abgeführt werden, so daß eine Wärmeabfuhr von mehr als 1 KW/cm<sup>2</sup> erforderlich ist.

Eine Wärmeabführung von den Bauteilen, insbesondere in Bezug auf Diodenlaserbarren, ist sowohl auf konktivem als auch auf konvektivem Wege möglich.

Nach dem Stand der Technik werden hierzu unterschiedliche Maßnahmen ergriffen, um den Wärmeproblemen zu entgegenen.

In der DE-A1 43 15 581 ist beispielsweise eine Anordnung aus Laserdioden mit einem Kühlsystem in Schichtbauweise beschrieben, bei dem eine Schicht ein Substrat ist, das eine oder mehrere Laserdiode(n) beinhaltet, und wobei wenigstens eine Schicht derart konstruiert ist, daß nach Aneinanderfügen der Schichten abgeschlossene Kanäle entstehen, durch die ein Kühlmedium strömt, und das Substrat in unmittelbarem Kontakt zum Kühlmedium steht. Durch diesen direkten Kontakt des Kühlmediums mit dem Substrat bzw. dem Laserdioden-Chip soll der thermische Widerstand von der laseraktiven Zone bis zum Kühlmedium stark reduziert werden.

Aus der DE-A1 45 15 580 ist eine mit der Anordnung nach der DE-A1 43 15 581 vergleichbare Laserdiodenanordnung mit Kühlsystem bekannt, die sich im wesentlichen mit der Herstellung einer solchen Kühlanordnung befaßt. Der Kühlkörper ist aus einzelnen Schichten aufgebaut, die derart strukturiert sind, daß sich die in den einzelnen Schichten des Kühlkörpers gebildeten Ausschnitte zu Kühlkanalstrukturen ergänzen, die sich durch den Kühlkörper horizontal und vertikal erstrecken.

Aus der DE-A1 15 14 055 ist eine Kühlvorrichtung für ein Halbleiterbauelement mit mindestens zwei zueinander parallel verlaufenden Kühlblechen bekannt, wobei die Kühlbleche aus Indium oder aus Zinn bestehen können. Weiterhin ist aus der DE-A1 4328 353 ein Mehrschicht-Substrat für elektrische Schaltkreise oder Bauelemente, bestehend aus einer Vielzahl von Keramikschichten und Metallisierungen, bekannt, aus denen Kühlkörper mit einer verbesserten Wärmeableitung aufgebaut werden. Der Kühlkörper selbst besteht aus einem zickzackförmigen Kühlblech.

In der US-PS 5,105,429 ist ein modularer Aufbau einer Kühleinrichtung für ein Laserdiodenarray beschrieben. Der Kühlkörper kann aus einer Schichtstruktur aufgebaut sein, wobei als thermisch gut leitendes Material Kupfer oder eine Kupfer-Wolfram-Legierung eingesetzt werden soll.

Schließlich ist in der PCT/W092/19027 eine Anordnung eines Laserdiodenarrays mit einer Mikrokanal-Kühlstruktur aus Silizium bekannt. Die Kühlkörper sind aus homogenem Material aufgebaut.

Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß ein wesentliches Problem in Bezug auf die Lebensdauer von Hochleistungslaserdioden die in dem Trägersubstrat sowie die in dem Kühlkörper mit dessen Kühlstrukturen auftretenden thermo-mechanische Spannungen darstellen, die zu einer Schädigung der zu kühlenden elektronischen Bauteile, wie beispielsweise Diodenlaserbarren, führen können. Zum einen erwärmt sich der Kühlkörper während des Betriebs des Bauteils, wobei die Ausdehnung des Kühlkörpers größer als diejenige des elektronischen Bauteils mit seinem Substrat-Träger ist. Dieser Effekt tritt verstärkt bei Diodenlaserbarren aufgrund der hohen Wärmeverlustleistung auf. Zum anderen wird bei der Montage beispielsweise eines Diodenlaserbarrens mittels eines Lötprozesses die Wärmesenke in Form des Kühlkörpers auf ca. 180°C erhitzt und dann die Diode aufgesetzt. Der Verbund kühlt sich innerhalb von Sekunden dann wieder auf Umgebungstemperatur ab. Üblicherweise wird während dieses Vorgangs das an dem Kühlkörper zu montierende Bauteil nicht gekühlt. Durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Kühlkörpers, überwiegend aus Kupfer, und des Halbleitermaterials, beispielsweise Galliumarsenid (Diodenlaserbarren), haben sich diese beiden Komponenten unterschiedlich stark ausgedehnt. Nach Erstarren des Lotes und bedingt durch die Abkühlung ziehen sich die Komponenten wieder zusammen und durch die stoffschlüssige Lötverbindung zwischen Kühlkörper und Diodenlaserbarren entstehen Spannungen in dem Bauteil, die insbesondere im späteren Betrieb zu Ablösungen oder Versetzungen und damit zu einem Ausfall des Bauteils führen können.

Wie bereits vorstehend erwähnt ist, sind gegenwärtig im wesentlichen aktive Kühlkörper, d. h. mit Kühlkanälen für ein Kühlfluid durchgezogene Kühlkörper, mit einem sehr geringen Wärmewiderstand verfügbar, die jedoch aufgrund der zu dem elektronischen Bauteil stark abweichenden Wärmeausdehnungen zu massiven Problemen beim Lötprozeß und zu eingeschränkten Lebensdauern der Bauteile führen; dies ist besonders gravierend in Bezug auf Diodenlaserbarren aufgrund des erheblichen Wärmegradienten zwischen Dioden und Kühlkörper.

Lösungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel CVD-Diamant als Material für den Kühlkörper, der in Verbindung mit Diodenlaserbarren eingesetzt wird, bringen das Problem mit sich, daß CVD-Diamant nicht lötbar ist; die Wärmeausdehnungskoeffizienten differieren um eine Zehnerpotenz gegenüber Faktor 6 zu GaAs und die nach dem Erstarren des Lotes entstehenden Spannungen können zu einer Ablösung und Zerstörung der Bauteile führen.

Eine alternative Möglichkeit, die sich bei dem Aufbau und der Kühlung von Diodenlaserbarren bietet, sind aktive Mikrokühler aus Silizium. Die Wärmeabfuhr von Silizium liegt im Bereich der Wärmeabfuhr des Diodenlaserbarrenmaterials, allerdings stellt sich das Problem, daß die Wärmeleitfähigkeit nur bei etwa 20% derjenigen von Kupfer liegt. Darüberhinaus liegen die Herstellkosten solcher Kühlkörper um den Faktor 2 höher als diejenigen eines Kupferkühlers. Schließlich erfordert die elektrisch isolierende Eigenschaft von Silizium eine Metallisierung der Kühler in Schichtdicken größer 20 µm. Aufgrund der sehr hohen Stromdichten in

den elektrisch leitenden Schichten, die bei einem Betrieb von Diodenlaserbarren benötigt werden, besteht die Gefahr einer sogenannten "Whisker-" und "Hillock-" Bildung, die durch Elektro-Migration bei hohen Stromdichten verursacht wird, und dies führt damit zu einem Totalausfall des Diodenlasers üblicherweise nach einigen 1000 Betriebsstunden.

Ausgehend von dem eingangs beschriebenen Stand der Technik und den aus umfangreichen Versuchen gewonnenen Erkenntnissen liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Kühlkörper mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil der eingangs beschriebenen Art so weiterzubilden, daß die während des Betriebs des Bauelements, insbesondere eines Diodenlaserbarrens, auftretenden Spannungen, insbesondere im Bereich der Grenzschicht zwischen dem Substrat bzw. dem Halbleitermaterial und dem Kühlkörper bzw. der Wärmesenke, reduziert sind und die Beanspruchungen während des Verbindungsprozesses zwischen dem Bauelement und der Wärmesenke nach der Erstarrung und Erkaltung durch den Lötvorgang minimiert werden.

Gelöst wird die Aufgabe in Bezug auf einen Kühlkörper mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil der angegebenen Art dadurch, daß mindestens zwischen zwei Kupferschichten eine Zwischenschicht zwischengelegt ist, die im wesentlichen aus einem oder mehreren der Material(ien) Molybdän, Wolfram, Aluminiumnitrid, pyrolytisches Graphit, das eine Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) größer  $100 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  besitzt, wobei die Dicke(n) der Zwischenschicht(en) so gewählt ist (sind), daß an der Montagefläche ein Wärmeausdehnungskoeffizient eingestellt wird, der so dem Wärmeausdehnungskoeffizient der Montagefläche eines zu montierenden Bauteils angepaßt ist, daß er von diesem nicht mehr als 10% abweicht.

Durch den erfindungsgemäßen Kühlkörper wird zum einen von der guten Wärmeleitfähigkeit bekannter Kupfer-Kühler Gebrauch gemacht, zum anderen wird durch die mindestens eine Zwischenschicht zwischen zwei Kupferschichten aus einem Material, das im wesentlichen aus einem oder mehreren der Material(ien) Molybdän, Wolfram, Aluminiumnitrid, pyrolytisches Graphit, das eine Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) größer  $100 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  besitzt, besteht, und durch die geeignete Wahl der Zwischenschichtstrukturen ein Wärmeausdehnungskoeffizient eingestellt, der sich an das über die Lotschicht an der Montagefläche verbundene Bauteil anpaßt. Insbesondere werden die durch den Lötprozeß beim Montieren des Bauteils, gerade im Hinblick auch auf die Montage von Diodenlaserbarren, entstehenden Spannungen aufgrund stark unterschiedlicher Wärmeausdehnungen eliminiert. Da der Kühler nach wie vor aus elektrisch leitendem Material aufgebaut werden kann, das in Form von Kupferschichten vorhanden ist, sind keine dicken Metallisierungen an Kontakten und Verbindungsflächen erforderlich. Es besteht nicht die Gefahr der Whisker- und Hillock-Bildung, wie dies bei elektrisch isolierenden Materialien, wie Silizium, der Fall ist.

Die durchgeführten Untersuchungen haben auch gezeigt, daß aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Kupfer-Kühlkörpern und den Halbleitermaterialien der Diodenlaser eine stark unterschiedliche Ausdehnung während des Montageprozesses entsteht. Nach dem Abkühlen wird ein Streßzustand quasi in dem Bereich der Verbindungsebene zwischen Diodenbarren und Wärmesenke "eingefro-

ren"; die Kräfte, die dadurch entstehen, wirken idealisiert als äußere Druckkräfte auf das befestigte Bauteil. Zusätzlich zu den induzierten Druckspannungen tritt eine weitere Belastung durch eine unterschiedliche Ausdehnung während des Lötens bzw. der Kontraktion der beiden Komponenten während und nach dem Abkühlen auf, so daß zu den Druckspannungen eine Beanspruchung aufgrund einer Durchbiegung auftritt. Mit dem erfindungsgemäßen Aufbau des Kühlkörpers werden diese Druck- und Biegebeanspruchungen weitgehendst vermieden und es kann eine im Vergleich zu Kupferkühler verbesserte Ebenheit durch die Verringerung der auftretenden Biegungen der Montagefläche von  $4 \mu\text{m/cm}$  auf etwa  $2,5 \mu\text{m/cm}$  erreicht werden. Desweiteren werden Risse, die bisher durch spannungsbedingte Überlastung das Lot schädigen und damit die Wärmeabfuhr und die Verbindungskräfte reduzieren, eliminiert. Es ist ersichtlich, daß natürlich die Zwischenschichten aus den angegebenen Materialien in Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit des gesamten Kühlkörpers einen Kompromiß darstellen. Diese Kompromisse kompensieren allerdings um ein Vielfaches die Nachteile, die ein Kühlkörper aus einem Kupfermaterial oder ein Kühlkörper aus einer Keramik mit sich bringt, abgesehen davon, daß vollständige Ausfälle des gesamten Bauteils vermieden werden können; dies trifft insbesondere in Bezug auf Diodenlaser oder Hochleistungs-Diodenlaser zu. Eine wesentliche Maßnahme zur Erzielung der angestrebten Effekte ist diejenige, daß die Dicke der Zwischenschicht oder die Dicken der Zwischenschichten so eingestellt werden, daß der Wärmeausdehnungskoeffizient des Kühlkörpers an der Montagefläche des Kühlkörpers dem Wärmeausdehnungskoeffizienten der Montagefläche eines zu montierenden Bauteils so angepaßt ist, daß sie nicht mehr als 10% voneinander abweichen. Mit einer solchen Maßnahme werden die sich eventuell aufbauenden Beanspruchungen in dem Kühlkörper bzw. zwischen dem Kühlkörper und dem Bauteil so weit reduziert, daß Ausfälle weitgehend ausgeschlossen werden können. In Bezug auf eine Schicht mit dem Aufbau, beispielsweise drei Kupferschichten und zwei Zwischenschichten aus den Materialien Molybdän, Wolfram, Aluminiumnitrid, pyrolytisches Graphit mit einer Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) größer  $100 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ , sollte der Wärmeausdehnungskoeffizient an der Montagefläche des Bauteils nicht mehr als 10% von demjenigen des zu montierenden Bauteils abweichen.

Bevorzugt wird die Zwischenschicht zwischen den mindestens zwei Kupferschichten aus einem pyrolytischen Graphit mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit dann gebildet, wenn höchste optische Ausgangsleistungen der Diodenlaser durch effektivste Wärmeabfuhr gefordert werden.

Zwischenschichten aus Molybdän sind dann zu bevorzugen, wenn besonders ebene Emitterlinien für die optische Strahlformung von Diodenlaserstrahlung gefordert werden.

Die Zwischenschichten können strukturiert sein, um Kühlkanäle zu bilden, durch die gegebenenfalls ein Kühlfluid hindurchgeführt wird. Solche Kühlkanäle gerade in den Zwischenschichten besitzen den Vorteil, daß durch den geeigneten konduktiven Widerstand im Falle von pyrolytischen Graphit der thermische Widerstand reduziert und damit die maximale Leistung und Lebensdauer von Diodenlasern gesteigert werden, insbesondere dann, wenn diese Strukturierung zu den jeweiligen Kupferschichten hin gebildet ist bzw. zu den Kupferschichten hin offen ist, so daß eine Seite des Kühlkanals

durch die angrenzende Kupferschicht abgeschlossen wird.

Es hat sich gezeigt, daß Zwischenschichten eine Dicke von 50 µm bis 700 µm haben sollten, allerdings mit der Maßgabe, daß die Dicke einer Zwischenschicht maximal 50% der Gesamtdicke des Kühlkörpers beträgt. In diesem Dimensionierungsbereich sind dünne Dicken der Zwischenschichten in dem unteren Teil des angegebenen Bereichs zu bevorzugen, wobei dann auch vorzugsweise die Anzahl der Schichten entsprechend erhöht werden sollte, um eine ausreichend abgestufte Anpassung der Wärmeausdehnungskoeffizienten zu erzielen.

In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsvarianten wird die Deckschicht des Kühlkörpers, die die Lot-schicht trägt, über die das elektronische Bauteil an dem Kühlkörper befestigt wird, aus Sauerstoff-freiem Kupfer gebildet. Hierdurch wird erreicht, daß eine Oberfläche des Kühlkörpers bereitgestellt wird, die sowohl eine Oberflächenendbearbeitung mittels Diamantbearbeitung ermöglicht als auch als Grundlage zur Abscheidung von Pinholes (Nachstichporen) freien Metallisierungsschichten dient. Die Dicke der Deckschicht beträgt hierbei 50 bis 600 µm, vorzugsweise etwa 100 µm. Die Deckschicht sollte demnach sehr dünn gehalten werden, um den Einfluß ihrer eigenen Wärmeausdehnung gering zu halten; bei dickeren Deckschichten kann es dazu kommen, daß die Wärmeausdehnung an der Montagefläche zunimmt.

In einem besonders bevorzugten Aufbau des Kühlkörpers wird auf der der Montagefläche gegenüberliegenden Seite eine Außenschicht aufgebracht, die aus einem Material entsprechend der Zwischenschichten gebildet ist. Hierdurch kann einer Verbiegung bzw. Aufwölbung des Kühlkörpers durch unterschiedliche Ausdehnungen an Unter- und Oberseite durch diese Schicht entgegengewirkt werden, so daß gerade mit einer solchen Außenschicht auf der der Montagefläche gegenüberliegenden Seite ein äußerst formstabiler Kühlkörper erzielt wird. Ein symmetrischer Aufbau um eine Mittelebene der Schichtstruktur ist demnach zu bevorzugen.

Für einige Anwendungen, wie beispielsweise bei Einsatz nicht elektrisch leitfähiger Zwischenschichten und als Voraussetzung für die Diamantbearbeitung der Montagefläche und -kante, kann es erforderlich sein, daß der gesamte Kühlkörper eine geschlossene Kupferoberfläche besitzt. Um eine haltbare Kupferbeschichtung gerade im Bereich der Zwischenschichten auf den nach außen hin freiliegenden Stirnkanten zu erzielen, werden die Zwischenschichten in ihrer lateralen Richtung geringfügig kürzer als die Kupferschichten ausgeführt, so daß jeweils zwischen den Stirnkanten der Kupferschichten Nuten mit den zurückversetzten Kanten der Zwischenschichten gebildet werden. Diese verbleibenden Spalte können dann, vorzugsweise durch galvanische Abscheidung, mit Kupfer gefüllt werden.

Vorzugsweise erfolgt die Verbindung der einzelnen Schichten, die den Kühlkörper ergeben, durch einen Diffusionsschweißprozeß. Hierdurch wird eine sehr haltbare Verbindung geschaffen.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen.

In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Kühlkörpers mit einer Zwischenschicht und einem angedeuteten Diodenlaserbarren zur Montage auf dem Kühlkörper,

Fig. 2 den Kühlkörper der Fig. 1 mit weiteren Schichten auf seiner Unterseite,

Fig. 3 schematisch einen Kupferkühlkörper mit einem darauf angeordneten Halbleiterbauteil zur Erläuterung der möglichen, auftretenden Druckspannungen,

Fig. 4 einen Aufbau entsprechend der Fig. 3 zur Erläuterung der auftretenden Biegespannungen,

Fig. 5 eine schematische Schnittansicht eines mehrschichtigen Kühlkörpers mit einer zusätzlichen Kupferbeschichtung im Bereich der verkürzt ausgebildeten Zwischenschichten.

Der Kühlkörper, wie ihn die Fig. 1 zeigt, weist eine obere Kupferschicht 2, eine Zwischenschicht 3 und eine untere Kupferschicht 4 auf. Während die beiden Kupferschichten 2, 4 in diesem Ausführungsbeispiel eine Dicke  $d_k$  von etwa 50 µm besitzen, ist die eingefügte Zwischenschicht 3 in einer Dicke  $d_z$  von etwa 300 µm ausgeführt. Bei dem Material für die Zwischenschicht 3 kann es sich um Molybdän, Wolfram, Aluminiumnitrid oder ein pyrolytisches Graphit, das eine Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) größer 100 W/m · K besitzt, handeln. Bevorzugt wird, wie in dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel, die Zwischenschicht 3 aus Molybdän oder pyrolytischem Graphit mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit gebildet, da hierdurch hohe optische Ausgangsleistungen der Diodenlaser durch die effektive Wärmeabfuhr erzielt werden. Auf der Oberseite der oberen Kupferschicht 2, und zwar an dem in Fig. 1 vorderen Randbereich, ist eine Montagefläche 5, die eine Lotschicht für ein anzulötendes Bauteil trägt, vorgesehen. Die Größe dieser Montagefläche 5 entspricht der Grundfläche des Bauteils 6, bei dem es sich in der Darstellung der Fig. 1 um einen Diodenlaserbarren 6 handelt, der oberhalb der Montagefläche 5 in Fig. 1 schematisch angedeutet ist. Unterhalb der die Montagefläche 5 bildenden Lotschicht ist zusätzlich eine Deckschicht aus Sauerstoff-freiem Kupfer vorgesehen. Diese Deckschicht dient dazu, eine Diamant-Ultrapräzisions-Bearbeitung zu ermöglichen und ist zugleich Basis für die chemo-galvanischen Bearbeitungsverfahren.

Im hinteren Bereich des Kühlkörpers 1 sind zwei Ausnehmungen 7 vorhanden, die jeweils eine Eintritts- und Austrittsöffnung für eine innere, nicht näher dargestellte Kanalstruktur bilden, durch die für eine aktive Kühlung ein Fluid, beispielsweise Wasser, geleitet wird. Diese Ausnehmungen bzw. die Kanalstruktur erstreckt sich auch durch die Zwischenschicht 3, wie in Fig. 1 zu erkennen ist.

Aufgrund der Zwischenschicht 3, durch die das Kupfermaterial des Kühlkörpers substituiert ist, wird eine stabile, sich nicht verwölbende oder mit starken inneren Spannungen behaftete Struktur erzielt; der auf der Montagefläche 5 montierte Laserdiodenbarren 6 mit einer Wärmeabgabe im Betrieb von bis zu 1 KW/cm<sup>2</sup> kann somit betriebssicher gehalten und gekühlt werden.

Anhand der Fig. 3 und 4 können die üblicherweise mit einem vollständig aus Kupfer gebildeten Kühlkörper 8, auf dem ein Halbleiterbauteil 9, beispielsweise aus Galliumarsenid, montiert ist, auftretenden Probleme erläutert werden.

Eine Erwärmung der Wärmesenken in Form des Kühlkörpers 8 aus Kupfer, wie dies die Fig. 3 zeigt, führt zu einer größeren Ausdehnung des Kühlkörpers 8 als derjenigen des Galliumarsenid-Halbleiterbauelements (Diodenlaserbarren) 9. Dadurch entstehen thermomechanische Spannungen, die das Halbleiterbauelement schädigen können. Diese Spannungen werden zum einen durch die Erwärmung der Wärmesenke, die zwi-

schen 30°C und 50°C im Betrieb liegt, zum anderen während des Auflötvorgangs, bei dem die Wärmesenke bis auf etwa 180°C kurzzeitig erhitzt wird, sich danach allerdings die Diode innerhalb von Sekunden wieder auf Umgebungstemperatur abkühlt, hervorgerufen. Üblicherweise wird während eines solchen Lötvorgangs das Halbleiterbauelement nicht aktiv gekühlt. Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Kupfer und Galliumarsenid haben sich die Komponenten dann zunächst unterschiedlich stark ausgedehnt und ziehen sich danach entsprechend wieder während der Abkühlung bei bereits erstarrtem Lot zusammen. Dadurch entsteht ein Streßzustand in der Verbindungsebene zwischen dem Halbleiterbauelement 9 und dem Kupfer-Kühlkörper 8, wie durch die Pfeile 10 angedeutet werden soll.

Zusätzlich zu den vorstehend angeführten Druckspannungen tritt eine weitere Belastung des Halbleiterbauelements bzw. des Diodenlaserbarrens aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnung bzw. der Kontraktion der beiden Komponenten, insbesondere aufgrund der starken Temperaturschwankungen während des Lötvorgangs zur Montage des Halbleiterbauelements 9 auf dem Kühlkörper 8, auf, wie in Fig. 4 gezeigt ist. Da das Halbleiterbauelement nach der Erwärmung durch seine geringere Kontraktion der stärkeren Kontraktion der Wärmesenke 8 entgegenwirkt, die an der Unterseite des Kühlkörpers 8 nicht vorhanden ist, folgt eine Durchbiegung des Kühlkörpers, wie dies dargestellt ist, die nach der Abkühlung durch die verschobenen Verbindungsflächen verbleibt. Wie bereits vorstehend erläutert ist, wird durch die Anpassung der Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen dem Laserdiodenbarren 6 (Fig. 1) und dem Kühlkörper 1 aufgrund der mindestens einen Zwischenschicht 3 der Möglichkeit des Auftretens sowohl der Druckspannungen, die sich bei der Verbindung eines Halbleiterbauelements mit einem reinem Kupferkörper entsprechend der Erläuterungen anhand der Fig. 3 aufbauen, als auch der Wölbung des Kupferkörpers, wie dies anhand der Fig. 4 erläutert wurde, entgegengewirkt. Wesentlich dafür, daß innerhalb des Kühlkörpers die anhand der Fig. 3 und 4 erläuterten Druck- und Biegespannungen nicht auftreten, ist, daß der Wärmeausdehnungskoeffizient an der Montagefläche 5 des Kühlkörpers so eingestellt wird, daß er von dem Wärmeausdehnungskoeffizienten der Montagefläche eines zu montierenden Bauteils nicht mehr als 10% abweicht. In der Ausführung, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist, beträgt beispielsweise der Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha$  des Laserdiodenbarrens, mit dem Bezugszeichen 6 bezeichnet, etwa  $6,5 \cdot 10^{-6}/K$ , so daß an der Oberseite der Montagefläche 5 ein entsprechender Wärmeausdehnungskoeffizient von etwa  $\alpha = 6,5 \cdot 10^{-6}/K$  einzustellen ist. Dies wird dadurch erreicht, daß die darunterliegende Kupferschicht 2, die einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von  $\alpha = 16,5 \cdot 10^{-6}/K$  aufweist, mit einer Dicke  $d_k$  von 50  $\mu m$ , auf einer Zwischenschicht aus Molybdän getragen wird, die eine Dicke  $d_z$  von 500  $\mu m$  mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten im Beispiel von  $\alpha = 4 \cdot 10^{-6}/K$  besitzt. Die Zwischenschicht 3 trägt wiederum auf ihrer Unterseite eine 50  $\mu m$  dicke Kupferschicht 4. Durch diesen Aufbau wird der Wärmeausdehnungskoeffizient des Kühlkörpers 1 graduell von der Unterseite, d. h. der unteren Kupferschicht 4, zu der Montagefläche 5 hin geändert, so daß kein Übergang in Bezug auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  zwischen der Montagefläche und den einzelnen Schichten 2, 3 und 4 zum montierenden Bereich vorhanden ist.

Während in Fig. 1 ein einfacher Strukturaufbau dargestellt ist, der im wesentlichen nur zur Veranschaulichung der Substitution eines Bereichs eines Kupfer-Kühlkörpers durch eine Zwischenschicht 3 dienen soll, ist in Fig. 2 ein Aufbau des Kühlkörpers 11 gezeigt, bei dem auf der Unterseite eine weitere Kupferschicht 12 vorgesehen ist, die auf ihrer Unterseite einen weiteren Kühlkörper 13 trägt, der in seinem Aufbau dem oberen Kühlkörper 1, der die Montagefläche 5 trägt, entspricht, und zwar wiederum aus einer oberen Kupferschicht 2, einer Zwischenschicht 3 und einer unteren Kupferschicht 4 gebildet. Durch diesen in der Schichtstruktur symmetrischen Aufbau des Kühlkörpers 11 um die mittlere, weitere Kupferschicht 12 herum wird einer Wölbung des Körpers 11, insbesondere bei dem Lötschritt zum Befestigen des Laserdiodenbarrens 6 auf der Montagefläche 5, entgegengewirkt. Während in Fig. 2 der Schichtaufbau schematisch dargestellt ist, wird verständlich werden, daß die untere, dünne Kupferschicht 4 bzw. die obere, dünne Kupferschicht 2 des Kühlkörpers 13 zusammen mit der weiteren Kupferschicht 12 einteilig ausgebildet werden kann. Der dargestellte strukturelle Aufbau in der Form, daß die beiden Zwischenschichten 3 jeweils die dünnen Kupferschichten 4, die der weiteren Kupferschicht 12 zugewandt sind, tragen, hat den Vorteil, daß ein einfacheres Diffusionsverschweißen mit der weiteren Kupferschicht 12 erfolgen kann die jeweiligen Baukörper, aus denen der Kühlkörper 11 aufgebaut wird, können jeweils in Form der Zwischenschichten 3 mit den darauf aufgetragenen oberen und unteren Kupferschichten 2, 4, die zur Verbindung dienen und beispielsweise galvanisch aufgebracht sein können, als Vorprodukte hergestellt werden. Sie können dann einfach vor der Verbindung miteinander strukturiert werden, um die Kühlkanäle zu bilden.

In Fig. 5 ist eine weitere Ausführungsform schematisch (nicht maßstabsgetreu) im Schnitt dargestellt, mit einem Bauteil 9 und einem Kühlkörper 21. Der Kühlkörper 21 in dieser Ausführungsform ist aus zwei Zwischenschichten 3, beispielsweise aus Molybdän, zwischen jeweils einer Kupferschicht 22 aufgebaut, wobei der Kühlkörper 21 an seiner Unterseite mit einer Kupferschicht 22 endet, ebenso auf seiner Oberseite, die zu dem Halbleiterbauelement 9 hin gerichtet ist, mit einer Kupferschicht 22 abschließt. Diese oberste Kupferschicht 22 ist eine Deckschicht aus Sauerstoff-freiem Kupfer mit einer Dicke von etwa 5  $\mu m$ , die die Lotschicht 23 trägt, über die das Bauelement 9 angelötet ist. Wie in der Schnittdarstellung der Fig. 5 zu erkennen ist, sind die einzelnen Zwischenschichten 3 in ihrer seitlichen Erstreckung kürzer ausgebildet als die jeweiligen Kupferschichten 22, so daß eine Art Kanal jeweils gebildet ist. Dieser Kanal bzw. diese Vertiefung ist mit Kupfer 24 gefüllt, das beispielsweise galvanisch abgeschieden ist, so daß sich auf der Außenseite des Kühlkörpers 21 eine geschlossene Kupferschicht ergibt. Ein solcher Kupferüberzug des gesamten Kühlkörpers 21 kann dann erforderlich sein, wenn eine spanabhebende Bearbeitung der Außenflächen notwendig ist und wenn die Zwischenschichten nicht elektrisch leitfähig sind. Die vorstehend erwähnte Schicht aus Sauerstoff-freiem Kupfer, die die Lotschicht 23 trägt, dient dazu, eine gute Bearbeitung zu ermöglichen, und dient als Schicht für die Abscheidung von Metallisierungsschichten, frei von Nadelstichporen. Vor dem Zusammenbau des Kühlkörpers 21 können die Zwischenschichten 3 beispielsweise mit Kupfer metallisiert werden, um die Verbindung mit den Kupferschichten 22 zu erleichtern.

1. Kühlkörper mit einer Montagefläche für ein elektronisches Bauteil, insbesondere für ein Halbleiterbauelement, wobei im Bereich dessen Montagefläche mittels einer Lotschicht einer Lotverbindung, die dünner als 100 µm ist, ein Bauteil montierbar ist, wobei der Kühlkörper im wesentlichen aus Kupfer gefertigt ist, eine Schichtstruktur aufweist und eine im Vergleich zu seinen Flächenabmessungen geringe Höhe aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwischen zwei Kupferschichten (2, 4; 12; 22) eine Zwischenschicht (3) zwischengelegt ist, die im wesentlichen aus einem oder mehreren der Material(ien) Molybdän, Wolfram, Aluminiumnitrid, pyrolytisches Graphit, das eine Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) größer 100 W/m · K besitzt, wobei die Dicke(n) der Zwischenschicht(en) (3) so gewählt ist (sind), daß an der Montagefläche (5) ein Wärmeausdehnungskoeffizient eingestellt wird, der so dem Wärmeausdehnungskoeffizient der Montagefläche (5) eines zu montierenden Bauteils (6) angepaßt ist, daß er von diesem nicht mehr als 10% abweicht. 5 10 15 20
2. Kühlkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (3) aus pyrolytischem Graphit mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit gebildet ist. 25
3. Kühlkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (3) aus Molybdän gebildet ist. 30
4. Kühlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (3) strukturiert ist. 35
5. Kühlkörper nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturierung in der Zwischenschicht (3) zumindest zu dem Kupfer hin gebildet ist. 40
6. Kühlkörper nach Anspruch 4 oder Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturierung in Form von Kanälen (17) gebildet ist. 45
7. Kühlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (3) eine Dicke ( $d_z$ ) zwischen 50 µm und 700 µm beträgt, wobei die Dicke maximal 50% der Dicke des Kupfer-Kühlkörpers (1, 11) ist. 50
8. Kühlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Deckschicht, die die Lotschicht (23) trägt, aus Sauerstoff-freiem Kupfer vorgesehen ist. 55
9. Kühlkörper nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht eine Dicke von 50 bis 600 µm, vorzugsweise etwa 100 µm, aufweist. 60
10. Kühlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß auf der der Montagefläche (5) gegenüberliegenden Seite eine Außenschicht aus einem Material gebildet ist, die im wesentlichen aus einem oder mehreren der Material(ien) Molybdän, Wolfram, Aluminiumnitrid, pyrolytisches Graphit, das eine Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) größer 100 W/m · K besitzt, gebildet ist. 65
11. Kühlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschichten (3) in ihrer longitudinalen Richtung geringfügig kürzer als die Kupferschichten (22) ausgeführt sind, wobei die sich ergebenden Spalte mit Kupfer gefüllt sind. 70
12. Kühlkörper nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Spalte durch galvanische Abscheidung von Kupfer (24) gefüllt sind. 75
13. Kühlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten mittels Diffusionsschweißen verbunden sind. 80

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



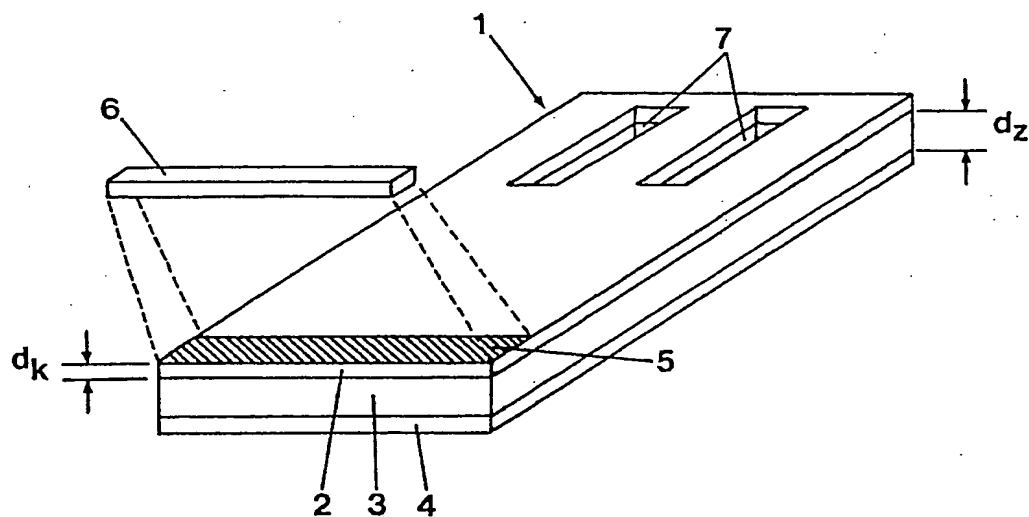


FIG. 1

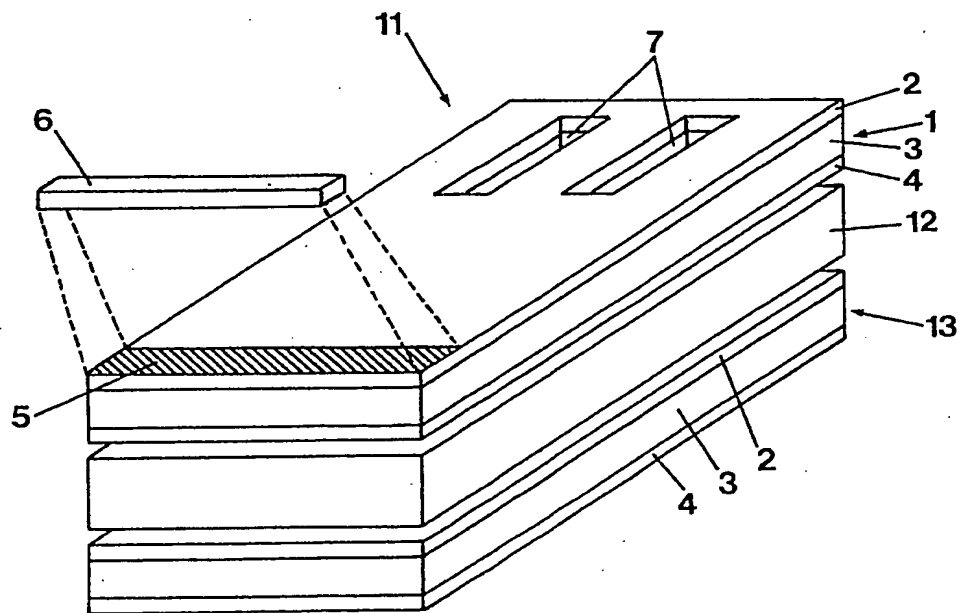


FIG. 2

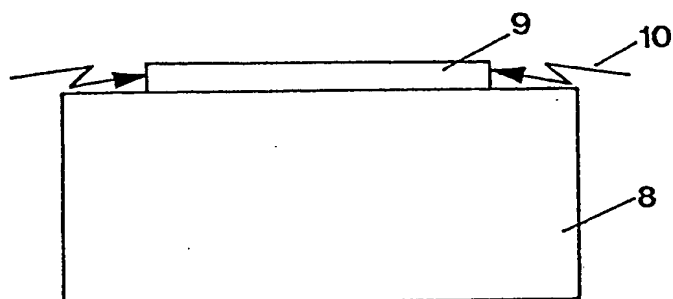


FIG. 3

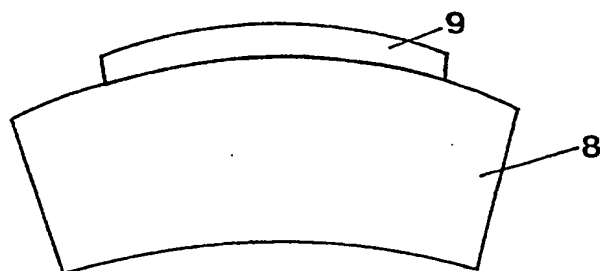


FIG. 4

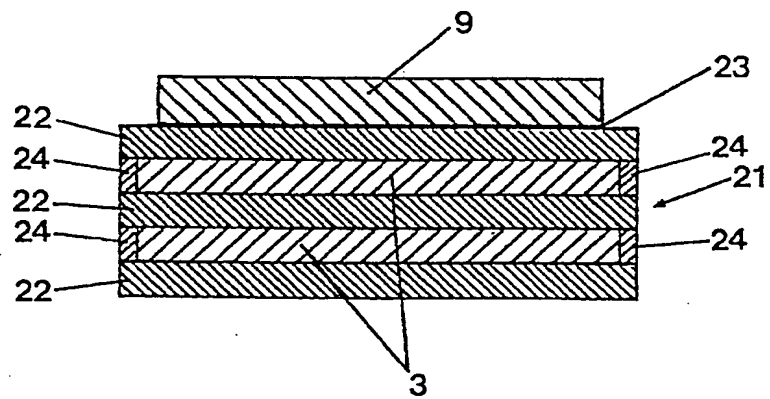


FIG. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**